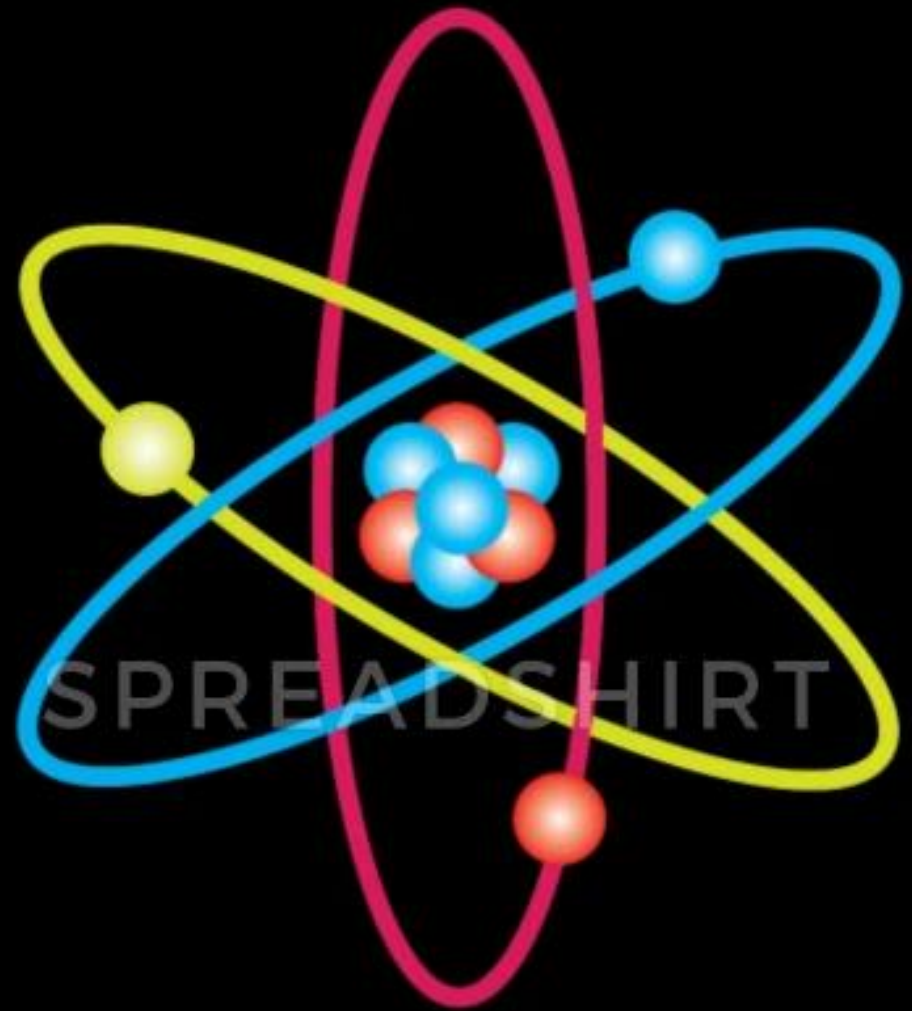


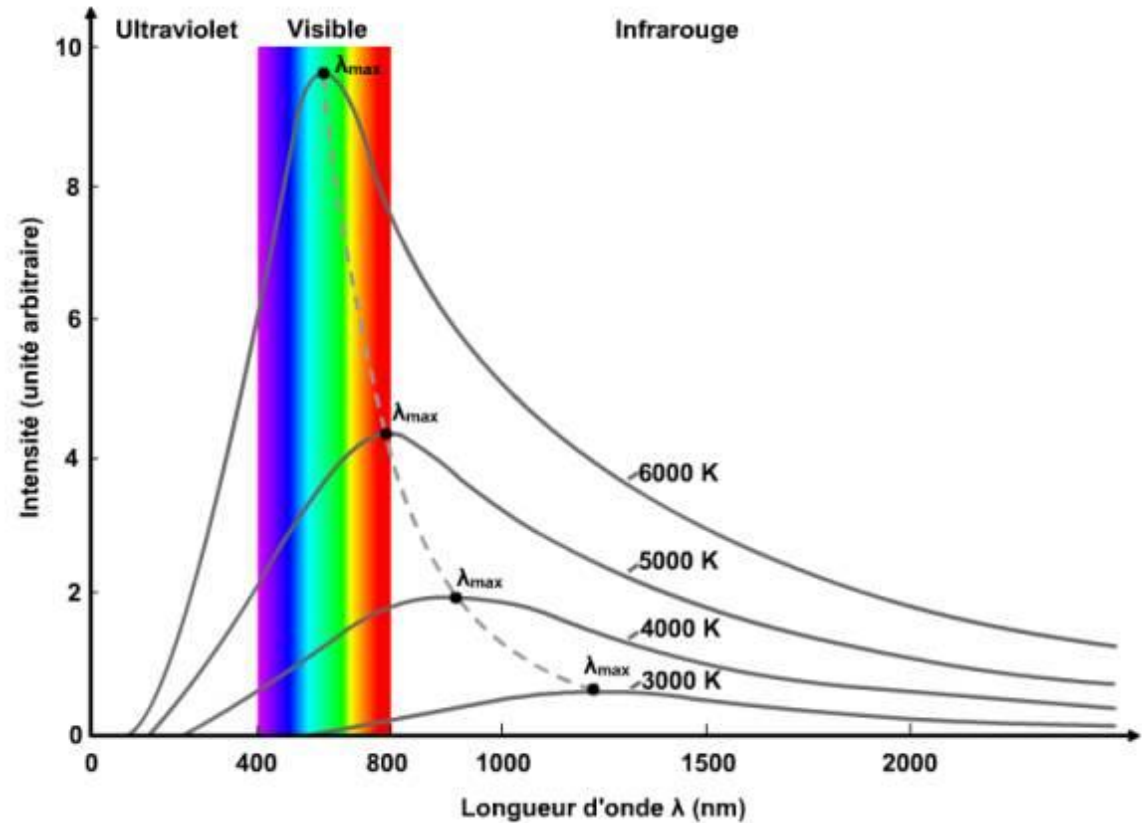
# Physique quantique



# I. Les grandes étapes historiques : le rayonnement du corps noir

- Corps noir : milieu en équilibre thermique qui **échange de l'énergie avec lui-même**.
- Loi de déplacement de Wien :

$$\lambda_{max} \cdot T = 0,29 \text{ cm. K}$$



# I. Les grandes étapes historiques : le rayonnement du corps noir

Quand la  $T^{\circ}\text{C}$  augmente les rayons sont de longueurs d'onde de + en + petites, or

$$\lambda = \frac{c}{\nu}$$

→ Donc les fréquences augmentent

**Planck répond** : la matière est constituée d'oscillateurs avec une fréquence caractéristique. Il y a alors des échanges que par des qtités discrètes : des quantas d'énergies multiples d'une énergie minimale  $h\nu$

**Einstein réplique** : REM → constitués de « paquets de lumière » = quantum de rayonnements :

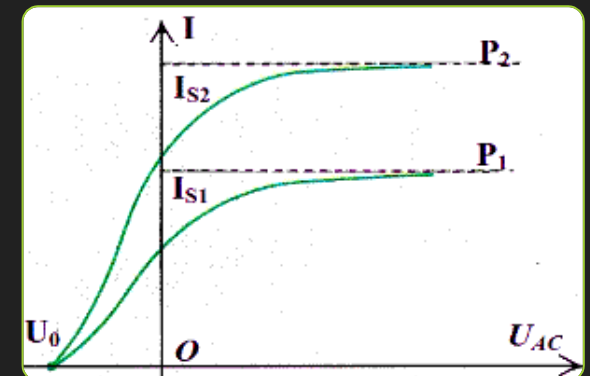
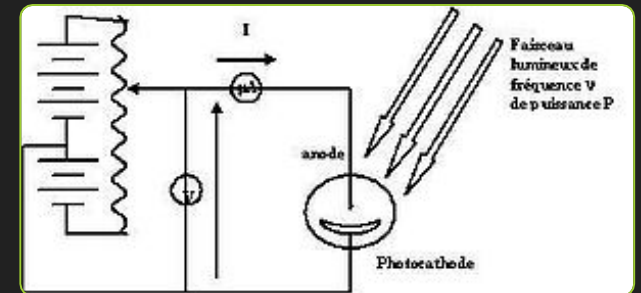
$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} = \hbar\omega \text{ avec } \hbar = \frac{h}{2\pi}$$

**Lewis** : paquets de lumière = photons

# I. Les grandes étapes historiques : l'effet photoélectrique

- Hertz : si on envoie de la **lumière UV** sur du métal, alors on **arrache des e-** de ce métal.
- Si on augmente la tension : **courant augmente** jusqu'au **courant de saturation**
- Si on diminue la tension : le **courant diminue** jusqu'à des valeurs inférieures à  $|V_0|$  = **contre tension maximale**, valeur à partir de laquelle il n'y a **plus de courant**

$$E_c = e \cdot |V_0|$$



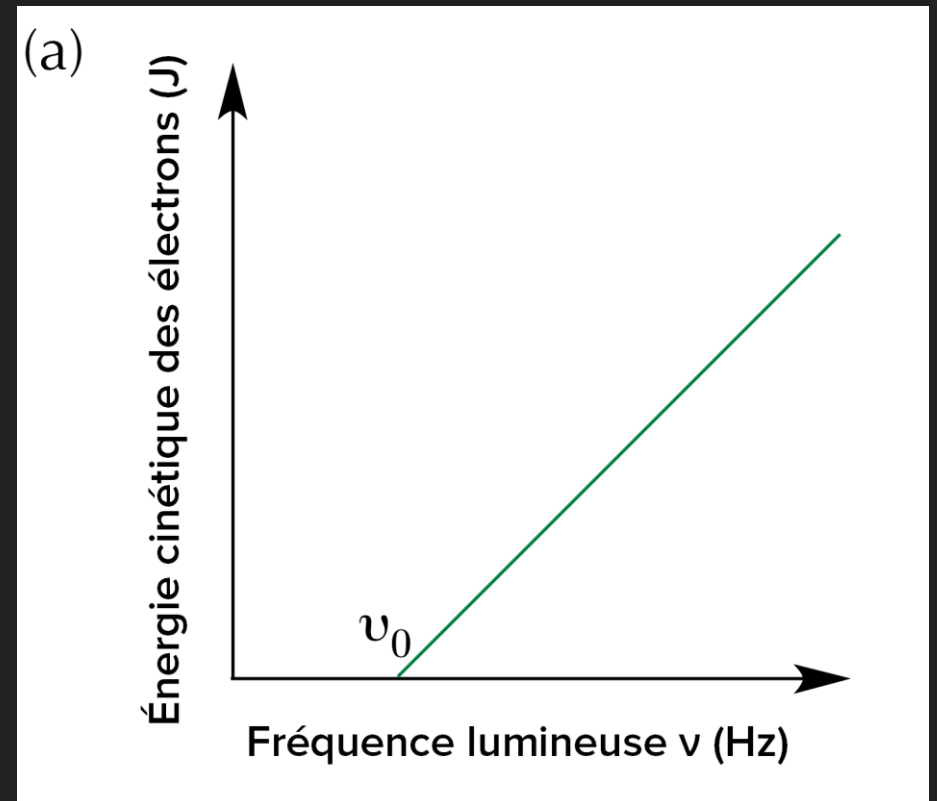
# I. Les grandes étapes historiques : l'effet photoélectrique

- Une fois la **fréquence seuil  $\nu_0$**  dépassée, l'énergie cinétique augmente linéairement avec la fréquence.

**Truc incroyable !** : le coefficient directeur de cette droite est la **constante de Planck !**

- **Einstein** : Pour extraire un électron de la photocathode, l'énergie du photon doit être supérieure à l'énergie de liaison de l'électron → **travail d'extraction**

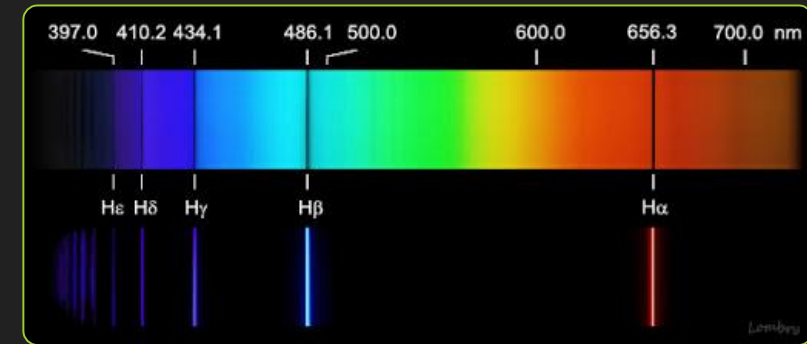
$$E_c = e|V_0| = h\nu - W = h(\nu - \nu_0)$$



# I. Les grandes étapes historiques : stabilité et spectre des atomes

- **Thomson** : pudding, tout se mélange
- **Rutherford** : charges positives au centre et négatives à la périphérie  
→ modèle planétaire

**Pour l'atome d'hydrogène** : on observe un spectre de raies (Paschen, Balmer, Lyman)



- Les longueurs d'onde émises par l'H vérifient :

$$\frac{1}{\lambda_{nm}} = R_h \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

# I. Les grandes étapes historiques : stabilité et spectre des atomes

- Explication par Bohr : il faut **quantifier le mouvement des électrons** tout comme on quantifie l'énergie des photons → le moment cinétique des électrons est quantifié et est un **multiple de  $\hbar$** . Cela signifie que seules **certaines orbites sont autorisées** ; le passage d'une orbite à une autre nécessite **émission/absorption photon**.

Energie mécanique de l'électron :

$$E_m = -k^2 \frac{(me^4)}{2\hbar^2 n^2} = -E_H \frac{1}{n^2}$$

Rayon de l'orbite :

$$r_n = a_0 n^2 \text{ où } a_0 = 0,53 \text{ \AA le rayon de Bohr}$$



# I. Les grandes étapes historiques : dualité onde-corpuscule, au-delà du photon

- De Broglie : étend dualité onde/particule à toute particule de matière

Ainsi, tout électron possède une longueur d'onde telle que

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

Longueur d'onde d'un électron sous une ddp de 100 V :

$$\lambda = \frac{h}{mv} \quad \text{or} \quad \frac{1}{2}mv^2 = eV \Leftrightarrow mv = \sqrt{2eVm}$$

$$\text{Donc } \lambda = \frac{h}{\sqrt{2eVm}} = \frac{6,6 \cdot 10^{-34}}{\sqrt{2 \times 1,6 \cdot 10^{-19} \times 100 \times 9,1 \cdot 10^{-31}}} = 1,2 \cdot 10^{-10} \text{ m} = 1,2 \text{ \AA}$$



# Interlude : application numérique et astuces QCM

- Pour ces QCMs, en général **seul le voltage change**. Donc dans ce cas, pour simplifier le calcul, on peut faire :

$$\lambda = \frac{1,2 \cdot 10^{-9}}{\sqrt{V}}$$

- Ou alors, on peut utiliser le fait qu'on sait que la **longueur d'onde varie de manière inversement proportionnelle avec la racine du voltage**. Donc si  $V$  augmente d'un facteur 9, la longueur d'onde diminue d'un facteur  $\sqrt{9}$ .
- /!\ suivant la valeur de  $\lambda$  trouvée → **phénomènes quantiques** : diffractions, interférences → dominants si  **$\lambda \gtrsim a$**  et  **$pa \lesssim h$**  (  $pa$  = action caractéristique )

# II. Apports de la physique quantique à la physique moderne : l'équation de Schrödinger stationnaire

## 1. L'équation en elle-même

Elle permet de décrire la forme de l'onde que décrit une particule.

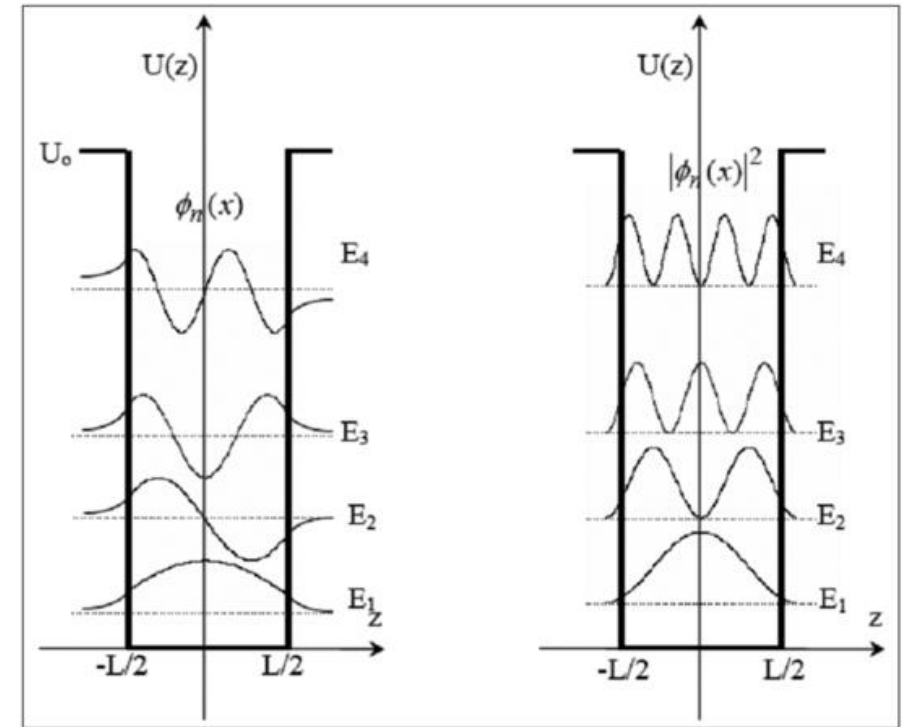
$$\frac{d^2\psi(x)}{d(x)^2} + \frac{2m}{\hbar^2} (E - U(\vec{r}))\psi(x) = 0$$

Les solutions d'une équation différentielle sont **localisées** et n'existent que pour certaines valeurs de E. Cette équation donne donc **des nombres quantiques particuliers** qui correspondent au model en couche de Bohr.

## II. Apports de la physique quantique à la physique moderne : l'équation de Schrödinger stationnaire

### 2. Le puits plat infiniment profond

- Mise en place : Particule dans une boîte dont **elle ne peut sortir**. On considère qu'elle est soit au repos, soit en mouvement (sans frottements), elle peut être dans **tous les états d'énergie possibles**. L'énergie potentielle est **nulle à l'intérieur** de la boîte et **infinie en dehors** → la fonction psy s'annule sur les bords



# II. Apports de la physique quantique à la physique moderne : l'équation de Schrödinger stationnaire

## 2. Le puits plat infiniment profond

$$k = \frac{n\pi}{L} \Leftrightarrow L = \frac{n\pi}{k} = \frac{n\lambda}{2}$$

Pour n = 1 : probabilité maximale au centre et minimale sur les bords

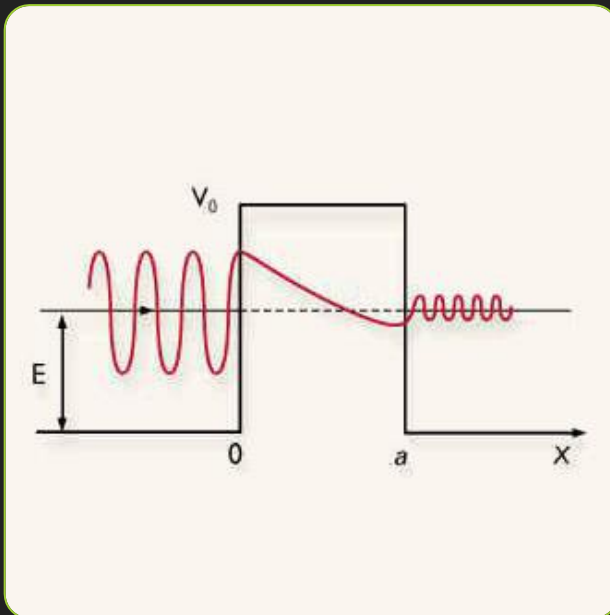
Pour n = 2 : maximale en  $\frac{1}{4}$  et  $\frac{3}{4}$  et nulle au centre et sur les bords

→ La longueur de la boîte doit un **multiple de la demi-longueur d'onde**, elle est donc **quantifiée**.

$$E = n^2 \frac{h^2}{8mL^2} = n^2 E_1$$

→ **L'énergie** dépend de k, elle est donc **quantifiée** et varie en **fonction du carré du niveau** correspondant.

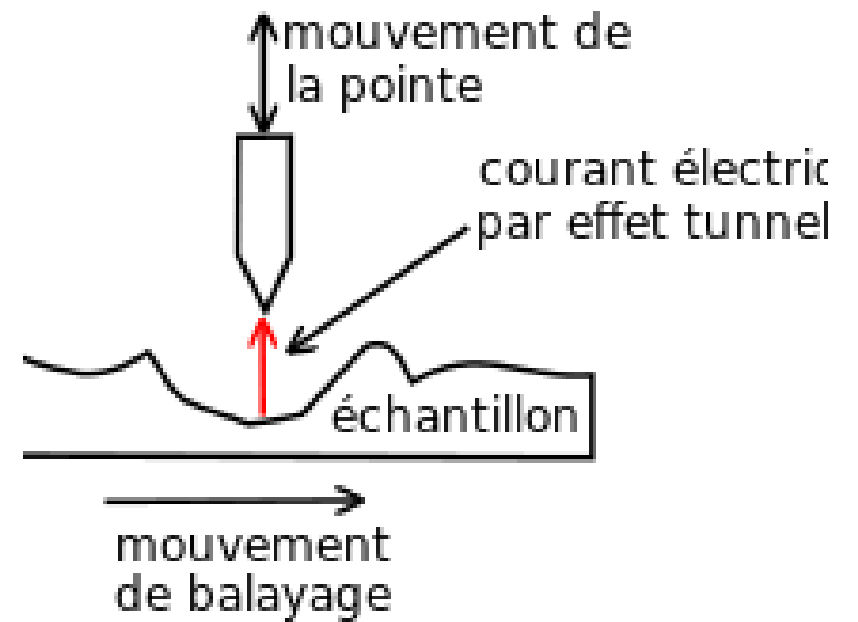
## II. Apports de la physique quantique à la physique moderne : effet tunnel et microscopie



- Selon la **mécanique classique**, si une particule avec une **énergie**  $E_c < \text{hauteur } V_0$  essaie de traverser cette barrière, elle n'y parviendra pas et fera **demi-tour**.
- Selon la **physique quantique**, une partie de l'onde associée à la particule peut **s'étendre au-delà** de l'endroit où l'EP devient plus grande. L'amplitude de cette onde va **diminuer de façon exponentielle**. Donc la particule **peut franchir la barrière** avec une proba réduite mais non nulle, si la couche de cette barrière est suffisamment fine.
- Distance sur laquelle peut avoir lieu l'effet tunnel :
- **Application** : microscopie à effet tunnel

$$P \propto e^{-\frac{2\delta}{\lambda_0}}$$

## Application : microscopie à effet tunnel



# QCMs

Salle socrative :  
**PHYSIQUETHEBEST**

QCM1 : A propos de l'effet photo-électrique, donnez les vrais :

- A) Si on augmente la tension, le courant augmente de manière exponentielle.
- B) Lorsque la tension est nulle, il n'y a pas de courant électrique.
- C) L'énergie cinétique de l'électron est proportionnelle à la contre tension.
- D) Pour extraire un électron de la photoanode, il faut que le photon qui le percute ait une énergie supérieure à l'énergie de liaison de l'électron.
- E) Toutes les propositions sont fausses.



# QCMs

Salle socrative :  
**PHYSIQUETHEBEST**

## Correction :

- A) Faux → il augmente mais pas de manière exponentielle
- B) Faux → Il y a bien un courant
- C) Vrai
- D) Faux → ce n'est pas ~~photoanode~~ mais photocathode
- E) Faux

**QCM2** : A propos de la physique quantique, donnez les vrais :

- A) L'inverse de la longueur d'onde est proportionnel à la différences des inverses de carré de nombres entiers.
- B) Selon De Broglie, toute particule possède une longueur d'onde qui est proportionnelle à la constante de Planck.
- C) Les phénomènes quantiques de type interférence et longueur d'onde sont négligeables quand l'action caractéristique est très grande par rapport à la constante de Planck.
- D) Dans le cas du puits plat infiniment profond, pour  $n=1$ , l'amplitude est maximale au centre et minimale aux extrémités.
- E) Toutes les propositions sont fausses.

# QCMs

Salle socratique :  
**PHYSIQUE THE BEST**

## Correction :

- A) Vrai
- B) Vrai
- C) Vrai
- D) Vrai
- E) Faux

